



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105278035 B

(45)授权公告日 2018.07.10

(21)申请号 201510387840.2

(22)申请日 2015.07.03

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 105278035 A

(43)申请公布日 2016.01.27

(30)优先权数据
14/331,555 2014.07.15 US

(73)专利权人 三菱电机株式会社
地址 日本东京

(72)发明人 秋浓俊昭 小岛启介 王炳南
西川智志 柳生荣治

(74)专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专
利商标事务所 11038
代理人 肖靖

(51)Int.Cl.

G02B 6/12(2006.01)

(56)对比文件

CN 102132180 A,2011.07.20,
CN 1904656 A,2007.01.31,
CN 200953055 Y,2007.09.26,
US 20030026544 A1,2003.02.06,
CN 1732398 A,2006.02.08,

审查员 周永恒

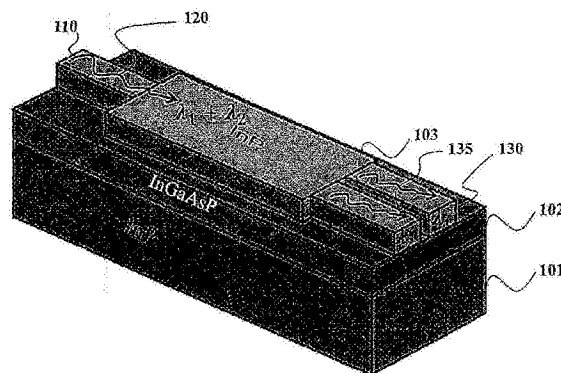
权利要求书2页 说明书7页 附图13页

(54)发明名称

多模干涉器件以及用于操作光信号的方法

(57)摘要

一种多模干涉(MMI)器件包括:基板层;芯层,生长在所述基板层上,用于传播光信号;以及覆层,生长在所述芯层上,用于引导所述光信号。该MMI器件包括补块,该补块具有由多条曲线的相交形成的非均匀的形状且在MMI器件内形成非均匀的折射率分布。所述多条曲线包括至少一条具有非零曲率的曲线。



100

1. 一种多模干涉 (MMI) 器件, 包括:
基板层;
芯层, 布置在所述基板层上, 用于传播光信号; 以及
覆层, 布置在所述芯层上, 用于引导所述光信号,
其中, 所述 MMI 器件包括补块, 该补块具有由多条曲线的相交形成的非均匀的形状且在所述 MMI 器件内形成非均匀的折射率分布, 所述补块的区域的折射率与隔着所述曲线邻接的区域的折射率不同,
其中, 所述多条曲线包括至少一条具有非零曲率的曲线,
其中, 所述多条曲线包括至少一条样条曲线。
2. 根据权利要求 1 所述的 MMI 器件, 其中, 所述多条曲线包括至少两条具有不同曲率的曲线。
3. 根据权利要求 2 所述的 MMI 器件, 其中, 所述多条曲线包括至少一条具有零曲率的曲线。
4. 根据权利要求 1 所述的 MMI 器件, 其中, 所述样条曲线包括具有不同曲率的至少两个多项式段。
5. 根据权利要求 1 所述的 MMI 器件, 其中, 所述多条曲线包括多条样条曲线。
6. 根据权利要求 1 所述的 MMI 器件, 其中, 所述多条曲线包括以非平角相交的曲线对。
7. 根据权利要求 6 所述的 MMI 器件, 其中, 所述曲线对在相交点以直角或锐角相交, 该直角或者锐角由所述曲线对在所述相交点处的切线形成。
8. 根据权利要求 1 所述的 MMI 器件, 其中, 所述多条曲线中的一条曲线与所述 MMI 器件的侧壁一致。
9. 根据权利要求 8 所述的 MMI 器件, 其中, 所述曲线具有非零曲率, 形成所述 MMI 器件的弯曲的侧壁。
10. 根据权利要求 1 所述的 MMI 器件, 其中, 所述 MMI 器件包括非均匀的补块图案, 该非均匀的补块图案贯穿所述覆层而以恒定的厚度蚀刻到芯层中, 并且其中, 所述非均匀的图案中的至少两个补块的尺寸不同。
11. 根据权利要求 10 所述的 MMI 器件, 其中, 非均匀的图案中的至少两个补块互相交叠。
12. 根据权利要求 10 所述的 MMI 器件, 其中, 非均匀的图案中的至少两个补块在形状或者材料上不同。
13. 根据权利要求 10 所述的 MMI 器件, 其中, 非均匀的图案中的至少一个补块的边缘相对于所述 MMI 的输入面倾斜。
14. 一种用于通过多模干涉 (MMI) 器件根据预定的任务操作光信号的方法, 包括:
确定在所述 MMI 器件内形成非均匀的折射率分布的非均匀的补块图案, 以使得所述非均匀的补块图案根据所述预定的任务操作所述光信号, 其中所述非均匀的补块图案包括补块, 该补块具有由多条曲线的相交形成的非均匀的形状, 所述补块的区域的折射率与隔着所述曲线邻接的区域的折射率不同, 其中所述多条曲线中的至少两条曲线具有不同的曲率, 其中, 所述多条曲线包括至少一条样条曲线; 以及
制造具有所述非均匀的补块图案的所述 MMI 器件。
15. 根据权利要求 14 所述的方法, 其中所述两条曲线包括一条具有零曲率的曲线和一

条具有非零曲率的曲线。

16. 根据权利要求15所述的方法,其中所述制造步骤包括:

所述MMI器件的芯层中对所述补块进行蚀刻,以使得所述补块的所述零曲率曲线或者所述非零曲率曲线与所述MMI器件的侧壁一致。

17. 根据权利要求14所述的方法,其中所述制造步骤包括:

沉积所述MMI器件的芯层;

根据所述非均匀的补块图案对所述芯层进行蚀刻,以形成蚀刻部的非均匀的图案;以及

沉积填充所述蚀刻部的非均匀的图案的覆层。

18. 根据权利要求14所述的方法,其中,所述制造步骤包括:

生长所述MMI器件的第一芯层;

在所述第一芯层上生长所述MMI器件的第一覆层;

在所述第一覆层上生长所述MMI器件的第二芯层;

根据所述非均匀的补块图案对所述第二芯层进行蚀刻,以形成蚀刻部的非均匀的图案;以及

生长填充所述蚀刻部的非均匀的图案的第二覆层。

19. 根据权利要求14所述的方法,其中所述制造步骤包括:

生长所述MMI器件的第一芯层;

生长所述MMI器件的蚀刻停止层;

生长沉积在所述蚀刻停止层上的所述MMI器件的第二芯层;

根据所述非均匀的补块图案对所述第二芯层进行蚀刻,以形成蚀刻部的非均匀的图案,其中所述蚀刻停止层的蚀刻速率比所述第二芯层的蚀刻速率慢;以及

生长填充蚀刻部的非均匀的图案的覆层。

多模干涉器件以及用于操作光信号的方法

技术领域

[0001] 本发明一般地涉及光学器件,更具体地涉及用于传播和操作光信号的多模干涉(MMI)器件。

背景技术

[0002] 在光通信中,可以在光载波内复用光信号的波长和偏振。电信网络越来越着眼于灵活性和可配置性,这要求用于光通信的光子集成电路(PIC)的功能性的提高以及小型化的器件。基于多模干涉(MMI)的光学器件具有大的带宽、偏振不敏感性以及高的制造公差。

[0003] 对于一些应用,期望使操作光信号的MMI器件的长度最小化。例如,在一个MMI器件中,诸如 $\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{As}_y\text{P}_{1-y}$ (成分 $y=0.4$)的铟镓砷磷(InGaAsP)芯被布置在磷化铟(InP)基板和上侧覆层之间。

[0004] 由于芯具有高折射率,光信号集中在芯内。具有相对低的折射率的覆层沿着器件的深度引导光信号。MMI器件的长度 L 要求短的和长的波长的拍长的连续的重复次数。拍长是偏振旋转360度所需的长度。

[0005] 例如,

$$[0006] \quad L = M \times L_{\pi}^{\lambda_1} = (M+1) \times L_{\pi}^{\lambda_2}, \quad (1)$$

[0007] 其中, $L_{\pi}^{\lambda_1}$ 和 $L_{\pi}^{\lambda_2}$ 分别是波长 λ_1 和 λ_2 处的拍长, M 是整数。对于宽度 W 的MMI器件,在波长 λ 处, $L_{\pi} \propto W^2/\lambda$,对于 $W=8\mu\text{m}$ 的典型的1.27/1.29 μm 波长分割器长度 L 大于5mm。

[0008] 但是,40/100G以太网的波长分隔典型地为20nm或更小。在小型器件中对以类似的波长进行振荡的光信号进行合成和分离是具有挑战性的。

[0009] 例如,在Yao等人的Optics Express 20p.18248,(2012)中描述了一种基于MMI的波长分割器/合成器。但是,为了该器件的工作,波长分隔必须非常大(诸如1.3 μm 和1.55 μm)。Jiao等人的IEEE J.Quantum Electronics,Vol.42,No.3,p.266(2006)描述了另一个光学操纵器。但是,由该操纵器使用的方法仅应用于光子晶体,并且这样的操纵器难以制造。在U.S.7,349,628中描述的另一个方法使用外部控制信号来对光信号进行复用或者解复用,这对于一些应用而言并不合适。

[0010] 需用操作具有多个波长或偏振的光信号的同时减小光学器件的长度和制造复杂度。

发明内容

[0011] 本发明的各种实施方式基于以下的认识:不同波长或偏振的光信号不同程度地受到光学器件中的1个阶段(step)的折射率的变化影响。信号对单一阶段的折射率的响应一般不足以提供所期望的信号操作(诸如合成或者分割不同波长的信号)。多折射率阶段可以共同地实现所期望的效果。

[0012] 因此,本发明的一些实施方式通过MMI器件内的非均匀的折射率分布使用多模干

涉 (MMI) 来操作光信号。通常, 针对诸如合成或者分割具有预定波长的信号这样的特定任务, 选择非均匀的折射率分布。一些实施方式使用优化技术以确定特定任务 (例如合成多个波长) 的非均匀的折射率分布。

[0013] 根据本发明的各种实施方式的 MMI 器件包括补块, 该补块在 MMI 器件内布置成非均匀的 (即不规则的) 图案。与均匀的图案相对, 非均匀的图案中的补块并非均匀地隔开。每个补块形成折射率的阶段, 由此非均匀的补块图案导致 MMI 器件内的非均匀的折射率分布。在一个实施方式中, 补块具有不同的尺寸, 但是具有相同的形状 (例如矩形形状) 和厚度。此外, 补块可以被布置在 MMI 器件内的相同的深度处, 并且由具有相同折射率的材料形成。在可替代的实施方式中, 补块在图案、间隔、形状、大小、材料、厚度或者深度上不同。

[0014] 本发明的一些实施方式基于以下另外的认识: 除了或者代替使用非均匀的补块图案, 可以使用具有非均匀的形状的较少数量的补块以提供 MMI 器件内的非均匀的折射率分布。如这里所使用的那样, 由不同类型的几何基元的组合来形成非均匀的补块形状。例如, 非均匀的形状可以由包括具有非零曲率的至少一条曲线的多条曲线的相交形成。在不同的实施方式中, 相交的曲线可以具有不同的曲率和/或类型。一般的, 多条曲线包括以非平角相交的曲线对。在一些情况下, 非均匀的形状可以简化 MMI 器件的制造和/或进一步减小其长度。

[0015] 因此, 一个实施方式公开了一种多模干涉 (MMI) 器件, 包括: 基板层; 芯层, 布置在基板层上, 用于传播光信号; 以及覆层, 布置在芯层上, 用于引导光信号, 其中, 所述 MMI 器件包括补块, 该补块具有由多条曲线的相交形成的非均匀的形状, 并在 MMI 器件内形成非均匀的折射率分布, 其中, 所述多条曲线包括至少一条具有非零曲率的曲线。

[0016] 另一个实施方式公开了一种用于由多模干涉 (MMI) 器件根据预定的任务操作光信号的方法。该方法包括: 确定在 MMI 器件内形成非均匀的折射率分布的非均匀的补块图案, 以使得非均匀的补块图案根据预定的任务操作光信号, 其中非均匀的补块图案包括具有由多条曲线的相交而形成的非均匀的形状的补块, 其中所述多条曲线中的至少两条曲线具有不同的曲率; 并且制造具有非均匀的补块图案的 MMI 器件。

附图说明

[0017] 图1是根据本发明的一个实施方式的示意性的多模干涉 (MMI) 器件的等角视图。

[0018] 图2是根据本发明的一个实施方式的包括非均匀的补块 (patch) 图案的 MMI 器件的横截面。

[0019] 图3是图2的器件的非均匀的折射率分布的俯视图。

[0020] 图4A和图4B是根据本发明的各种实施方式的图1的器件的俯视图。

[0021] 图5是根据本发明的一个实施方式的用于确定非均匀的补块图案的方法的框图。

[0022] 图6是根据本发明的一个实施方式的 MMI 器件横截面。

[0023] 图7是根据本发明的另一个实施方式的 MMI 器件的横截面。

[0024] 图8是根据本发明的又一个实施方式的 MMI 器件的横截面。

[0025] 图9是根据本发明的又一个实施方式的 MMI 器件的横截面。

[0026] 图10、11和12是根据本发明不同的实施方式的包括非均匀的形状的补块的器件的俯视图。

具体实施方式

[0027] 图1示出了根据本发明的一个实施方式的、根据预定的任务操作光信号的示意性的多模干涉(MMI)器件100的等角视图。

[0028] 如以下所描述的那样,MMI器件可以被实施为具有基板、芯以及覆层这些层的外延生长构造。例如,在一个实施方式中,MMI器件是磷化铟(InP)/铟镓砷磷(InGaAsP)构造,其包括InP基板、具有例如与InP 60%晶格匹配的As成分的InGaAsP芯层以及InP覆层。在另一个实施方式中,MMI器件可以包括砷化镓(GaAs)/砷化铝镓(AlGaAs)。其它变形也是可以的且在本发明的实施方式的范围内。

[0029] 例如,MMI器件100包括:基板层(例如InP层101);芯层,(例如InGaAsP层102),生长在基板层上,用于传播光信号;以及覆层(例如InP层103),生长在芯层上,用于引导光信号。

[0030] MMI器件100包括:输入波导110,用于输入光信号120;输出波导130和135,用于输出两个信号。在一个实施方式中,光信号包括不同波长的两个信号。例如,光信号包括具有第一波长 λ_1 的第一信号以及具有第二波长 λ_2 的第二信号。在该实施方式中,预定的任务包括将光信号分割成第一信号和第二信号。

[0031] 在各实施方式之间预定的任务不同。例如,在一个实施方式中,预定的任务包括将多个信号合成为一个信号。在另一个实施方式中,预定的任务包括基于信号的偏振来合成或者分割多个信号。而且,在各种实施方式中,信号的波长和/或偏振可以不同。

[0032] 发明的各种实施方式基于以下的认识:不同波长或偏振的信号不同程度地受到变化(例如光学操作器中的折射率的阶段)的影响。针对单一折射率变化的信号的响应通常不足以提供所希望的信号操作,诸如合成或者分割不同波长的信号。但是,多个折射率阶段可以共同地实现所希望的效果。因此,在各种实施方式中,MMI器件包括在MMI器件内形成非均匀的折射率分布的非均匀的补块图案。

[0033] 图2示出了包括非均匀的补块图案的MMI器件200的横截面。在该例子中,芯层202是InP基板201和InP覆层203之间的 $\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{As}_y\text{P}_{1-y}$ ($y=0.4$)。光信号集中在芯层中,该芯层具有比覆层的折射率更高的折射率。覆层的较低的折射率用于支持沿着MMI器件的深度传播光信号。

[0034] 在该实施方式中, $\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{As}_y\text{P}_{1-y}$ 是四元材料,其中x(从0至1)是Ga的部分,y(从0至1)是As的部分。例如,如果 $x=0$ 并且 $y=0$,则四元材料为InP。类似地,如果 $x=1$ 并且 $y=1$,则四元材料为GaAs。

[0035] 为了在InP层上沉积InGaAsP材料,晶格匹配条件定义了x和y之间的关系,诸如 $x=-0.42y$ 。通过指定一个分量的值,例如, $y=0.4$,可以确定材料的全部成分。

[0036] MMI器件200包括补块210和另一个补块220。补块210和220布置成非均匀的图案并且在MMI器件内形成非均匀的折射率分布。在该例子中,每个补块具有矩形形状并且以恒定厚度 T_g 230贯通覆层而延伸到芯层中。两个补块的尺寸,例如补块的宽度 W_1 和 W_2 不同。在可替代的实施方式中,补块在形状、大小、材料和深度方面上不同。

[0037] 图3示出了器件200的非均匀的折射率分布的俯视图。在该实施方式中,补块区域的折射率(例如区域310和320的折射率 n_{low})低于非补块区域的折射率(例如区域330的折射率 n_{high})。在可替代的实施方式中可以颠倒该关系。而且,在一个实施方式中,补块的材料

包括金属材料,这导致折射率的虚数部产生预定的偏振功能。

[0038] 一些实施方式使用优化方法以确定在短的器件中导致所希望的波长选择性的非均匀的补块图案。但是,因为使用非均匀的折射率分布的波长操作的根本理论仍然在发展中,可能难以选择优化参数。因此,一些实施方式确定使折射率的分布随机化的补块参数的集合并根据预定的任务优化参数。

[0039] 例如,一个实施方式使用了用于优化的协方差矩阵自适应进化策略(CMA-ES)。CMA-ES优化仅要求先验地(a-priori)单一的输入,由此对于自适应而言是有益的。

[0040] 非均匀的图案的优化

[0041] 图4A示出了根据本发明的一个实施方式的具有使用优化方法确定了非均匀的折射率分布的图1的器件100的俯视图。根据优化方法,在优化期间,MMI器件的横向宽度W和器件的长度L在一定约束下是可变参数。通过使用预定数量的矩形补块使折射率分布随机化。在该例子中,该方法使用五个补块。每个补块由四个参数(即补块的横向宽度 W_p 、补块的偏移 O_p 、补块的位置 P_p 以及补块的长度 L_p)标识。输入波导110和输出波导130、135的位置由横轴偏移 O_{in} 、 O_{out1} 和 O_{out2} 标识。可选地,全部三个波导的宽度 W_{port} 是相同的或者可变的。

[0042] 图4示出了形成了非均匀的图案的五个补块。补块的参数集合以补块能够交叠并且至少部分地存在于MMI器件内的方式指定有低的和高的限制。在该例子中,在以上优化问题中的变量的总数至少为 $N_{var}=4 \times N_p+5$,其中 N_p 是初始补块的数量。

[0043] 与均匀的图案相对,非均匀的图案中的补块并非均匀地隔开。例如,补块410、420、430、440和450具有不同的例如随机的顺序、方向以及彼此之间的距离。例如,补块420和430互相相交,补块430和440相互邻接,补块410和450互相位于一定距离处。通过由本发明的一些实施方式所采用的优化方法,至少部分地形成这样的非均匀性。

[0044] 图4B示出了根据本发明的另一个实施方式的图1的器件100的俯视图。该实施方式基于这样的认识:从器件内返回到输入端口的反射导致不稳定,并且来自激光器件的噪声提高,需要使其最小化。在该实施方式中,使MMI输入/输出端口的壁和补块倾斜,以使得返回到输入的端口的反射最小化。

[0045] 图5示出了一个实施方式的方法500的框图,用于确定在MMI器件内形成非均匀的折射率分布的非均匀的补块图案,以使得非均匀的补块图案根据预定的任务操作光信号。该方法可以使用处理器501来实施。

[0046] 该方法确定非均匀的补块图案的参数的随机集合525。例如,该方法确定(510)补块的数量515,并且针对每个补块随机地确定(520)参数的值。接着,优化(530)定义了执行预定的任务的MMI器件的操作的参数的度量函数550以产生参数535的最佳集合。使用参数535的最佳集合来确定(540)非均匀的补块图案545。

[0047] 例如,采用CMA-ES方法的实施方式基于多个粒子在函数空间中搜索全局最优。分布在发展的超椭圆上的函数评价的历史确定在下一个迭代中的方法的方向。粒子的数量 N_{part} 是依赖于该问题的。在一个实施方式中粒子的数量是

$$[0048] \quad N_{part} = 4 + \lfloor 3 \times \ln N_{var} \rfloor. \quad (3)$$

[0049] 优化处理的另一个方面是用于评价在给定的迭代下的优化器行为的度量函数,即在每次迭代由每个粒子返回的值。波长合成器/分割器被设计用于预定的任务,例如将波长

λ_1 和 λ_2 处的波束耦合到各自的输出端口,同时抑制串扰。因此,相应地选择度量函数,例如以定义执行预定的任务的MMI器件的动作。在由各个实施方式使用的多个度量函数之中,一个度量函数使得CMA-ES的平均收敛最大化。该度量函数是

$$[0050] \quad \text{Metric} = \log \left[P_1^{\lambda_1} \right] + \log \left[P_2^{\lambda_2} \right] - \log \left[P_1^{\lambda_2} + 1 \right] - \log \left[P_2^{\lambda_1} + 1 \right], \quad (4)$$

[0051] 其中 $P_m^{\lambda_n}$ 是在波长 λ_n 处的第m输出波导的第m模功率(power), $n=1,2,m=1,2$ 。一些实施方式根据下式(5),使用相对于存在于输入波导中且耦合到MMI器件的基本横电磁(TE)模的功率被正规化了的分数功率。

$$[0052] \quad P_m^{\lambda_n} = \frac{\int_{-W/2}^{W/2} u_{out,m}^{\lambda_n}(x) \cdot \left(u_{in}^{\lambda_n}(x) \right)^* dx}{\int_{-W/2}^{W/2} |u_{out,m}^{\lambda_n}(x)|^2 dx}, \quad (5)$$

[0053] $n=1,2,m=1,2$ 。 $u_{in}^{\lambda_n}$ 、 $u_{out,1}^{\lambda_n}$ 和 $u_{out,2}^{\lambda_n}$ 是分别存在于输入波导、第一输出波导和第二输出波导中的波长 λ_n 处的基本TE模。(4)中度量函数的最大可能值为0,在两个波长处无串扰的理想情况下发生。

[0054] 非均匀的图案的制造

[0055] 在MMI器件内形成非均匀的折射率分布的非均匀的补块图案被确定之后,制造具有非均匀的补块图案的MMI器件。

[0056] 图6示出了根据本发明的一个实施方式制造的MMI器件610。该实施方式蚀刻到上侧覆层中或者芯层中,用空气或者介电材料(例如诸如SiNx和SiO2那样的二氧化硅)形成补块620和630。该实施方式更易于实施,但是难于控制图案的准确形成。特别是该实施方式要求控制蚀刻的停止,这可能产生制造问题。

[0057] 图7示出了根据另一个实施方式制造的MMI器件700。制造步骤包括:在基板701上沉积(例如生长)MMI器件的芯层702,根据非均匀的补块图案对芯层进行蚀刻,以形成蚀刻部710和720的非均匀的图案,并且沉积填充蚀刻部的非均匀的图案的覆层703。该实施方式的制造处理更易于控制。

[0058] 波导的有效折射率依赖于蚀刻深度。蚀刻是除去不需要的材料的处理。蚀刻的例子包括湿法蚀刻和干法蚀刻。还被称为化学铣切的湿法蚀刻是使用酸、盐基、或者其他化学品来溶解不需要的材料(诸如金属、半导体材料或者玻璃)的处理。干法蚀刻是指通过将材料暴露在从暴露的表面去除材料的一部分的离子的轰击下来除去材料。对于任意类型的蚀刻处理,蚀刻深度的控制可能是困难的,蚀刻深度的变化可能导致所制造的器件间的性能变化。

[0059] 图8示出了根据又一个实施方式制造的MMI器件800。制造步骤包括:在基板801上生长MMI器件800的第一芯层802,在第一芯层上生长MMI器件的第一覆层803,以及在第一覆层上生长MMI器件的第二芯层804。根据非均匀的补块图案对第二芯层进行蚀刻以形成蚀刻部810和820的非均匀的图案。生长第二覆层805以填充蚀刻部的非均匀的图案。在该实施方式中,控制蚀刻以使得第二芯层完全被蚀刻并且第一覆层仅部分被蚀刻。第二覆层805是与

第一覆层803相同的材料并且两个覆层合并以补偿蚀刻中的差异。这样,蚀刻速率的变化性不影响器件性能,根据本实施方式的制造步骤使蚀刻深度的变化最小化。

[0060] 图9示出了根据又一个实施方式制造的MMI器件900。该实施方式使用蚀刻停止层来使不同补块的蚀刻的波动最小化。例如,InGaAsP材料的蚀刻速率依赖于成分(y)和蚀刻溶液(在湿法蚀刻的情况下)或者气体(在干法蚀刻的情况下)。通过选择特定的成分,InGaAsP层可以用作对于层的材料具有低的蚀刻速率的蚀刻停止层。在这种情况下,不管时刻条件变化如何,蚀刻停止层减慢蚀刻并且减小蚀刻深度的变化。

[0061] 制造步骤包括:在基板901上生长MMI器件900的第一芯层902;在第一芯层上生长MMI器件的蚀刻停止层903;在蚀刻停止层上生长MMI器件的第二芯层904;根据非均匀的补块图案对第二芯层进行蚀刻以形成蚀刻部的非均匀的图案;以及生长填充蚀刻部的非均匀的图案的覆层905。根据本实施方式的制造步骤使得蚀刻深度的变化最小化。

[0062] 具有非均匀的形状的补块

[0063] 本发明的一些实施方式基于另一认识:除了或者替代使用非均匀的补块图案,少量的具有非均匀的形状的补块可以用于提供MMI器件中的非均匀的折射率分布。如这里所使用的,补块的非均匀的形状通过不同类型的几何基元的组合来形成。例如,非均匀的形状可以由包括至少一条具有非零曲率的曲线的多条曲线的相交来形成。在不同的实施方式中,相交的曲线可以具有不同的曲率和/或类型。一般地,多条曲线包括以非平角相交的曲线对。在一些情况下,非均匀的形状可以简化MMI器件的制造,并且/或者进一步减小其长度。

[0064] 图10示出了由非均匀的形状的补块形成的器件的非均匀的折射率分布的俯视图。在该实施方式中,补块1010和1020的区域的折射率 n_{low} 低于非补块区域1030的折射率 n_{high} 。在可替代的实施方式中,该关系可以被翻转。

[0065] 补块1010和1020具有由具有不同曲率的曲线的相交形成的非均匀的形状。在该实施方式中,补块1010由具有非零曲率的曲线1060和直线段1070(即具有零曲率的曲线)形成。类似地,补块1010由曲线1050和直线段1080形成。其他曲线的数量和类型的组合也是可以的。

[0066] 图11示出了由非均匀的形状的补块1110和1120形成的器件的非均匀的折射率分布的俯视图。在一些实施方式中,多条曲线中的一条曲线与MMI器件的侧壁一致。在一些情况下,这样的布置简化了MMI器件的制造,并且可以进一步改善非均匀的折射率分布的生成。

[0067] 例如,通过使曲线1160和1170相交来形成补块1120的形状,零曲率曲线1170与MMI器件的侧壁1175一致,即形成MMI器件的侧壁1175的一部分。类似地,通过使具有非零曲率的两条曲线1150和1180相交来形成补块1110的形状。在该例子中,非零曲率曲线1180与MMI器件的侧壁一致,使得侧壁的该部分弯曲。

[0068] 在一些实施中,在MMI内补块在形状上平滑地弯曲或者分段线性地成形。一些控制点和各种内插方法(可以包括样条曲线内插、线性内插、多项式内插和贝塞尔内插)可以表征槽的形状。一些实现根据预定的任务确定使折射率的分布随机化的补块和倾斜接合部的参数的集合,并且优化参数。作为一个例子,为了优化一个实现可以使用CMA-ES。

[0069] 图12示出了根据本发明的另一个实施方式的MMI器件的非均匀的补块的俯视图。

在该实施方式中,多条曲线包括多条样条曲线,例如1221、1222、1226和1228。样条曲线是分段定义的足够平滑的多项式函数,例如在还被称为节点的点1238和1236处具有高度的平滑度,此处多项式分段(例如弧1234和1232)相连接。在一些实施方式中,样条曲线包括具有不同曲率的至少两个多项式段。

[0070] 本发明的该实施方式基于以下的认识:对补块的样条曲线形状进行蚀刻可以提供制造补块的非均匀的形状的复杂度和MMI器件的各部分中的折射率的变化分布之间的有利的平衡。例如,横跨MMI器件蚀刻样条曲线根据样条曲线的形状非均匀地改变折射率。由此,可以针对特定任务选择和/或优化多条样条曲线的形状。

[0071] 在图12中,补块1210的形状由样条曲线1222、1226、1228和曲线1220、1224的相交形成。一般地,多条曲线相交并且包括以非平角相交的曲线对。例如,曲线1224和1220以直角相交,但是该角还可以是锐角或者钝角。

[0072] 具有非零曲率的曲线的相交角度可以由曲线在它们的相交点处的切线的角度来确定。例如,曲线1221和1222的相交角度可以由曲线1221和1222在相交点1240处的切线1242和1244形成的角度1248确定。

[0073] 可替换的实施方式通过使用不同类型的非均匀的形状在MMI器件内形成非均匀的折射率分布。例如,在一些实施方式中,非均匀的图案中的至少一个补块的至少两个边缘由不同尺寸的相同的几何基元形成。这样的形状的一个例子是具有不同长度的边的三角形。另一个实施方式在不同补块之间在形状和尺寸上不同。一个实施方式使用MMI构造的弯曲成形的侧壁作为圆锥,其在传播中生成了非均匀的模式干涉图案。

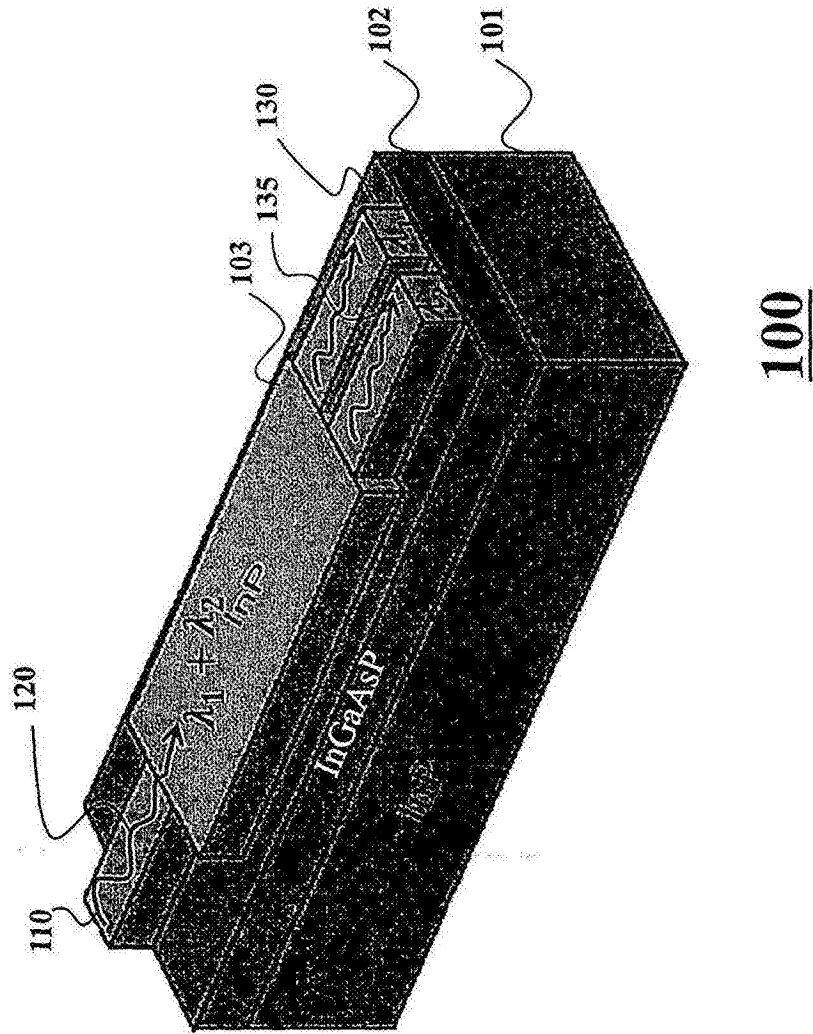


图1

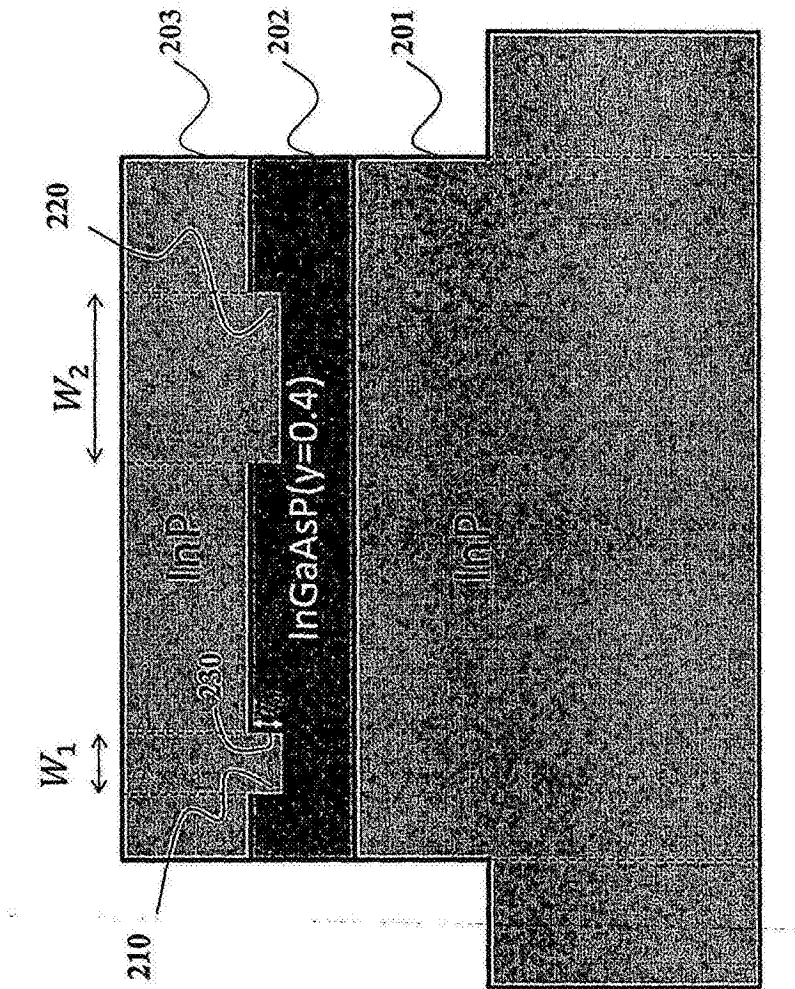


图2

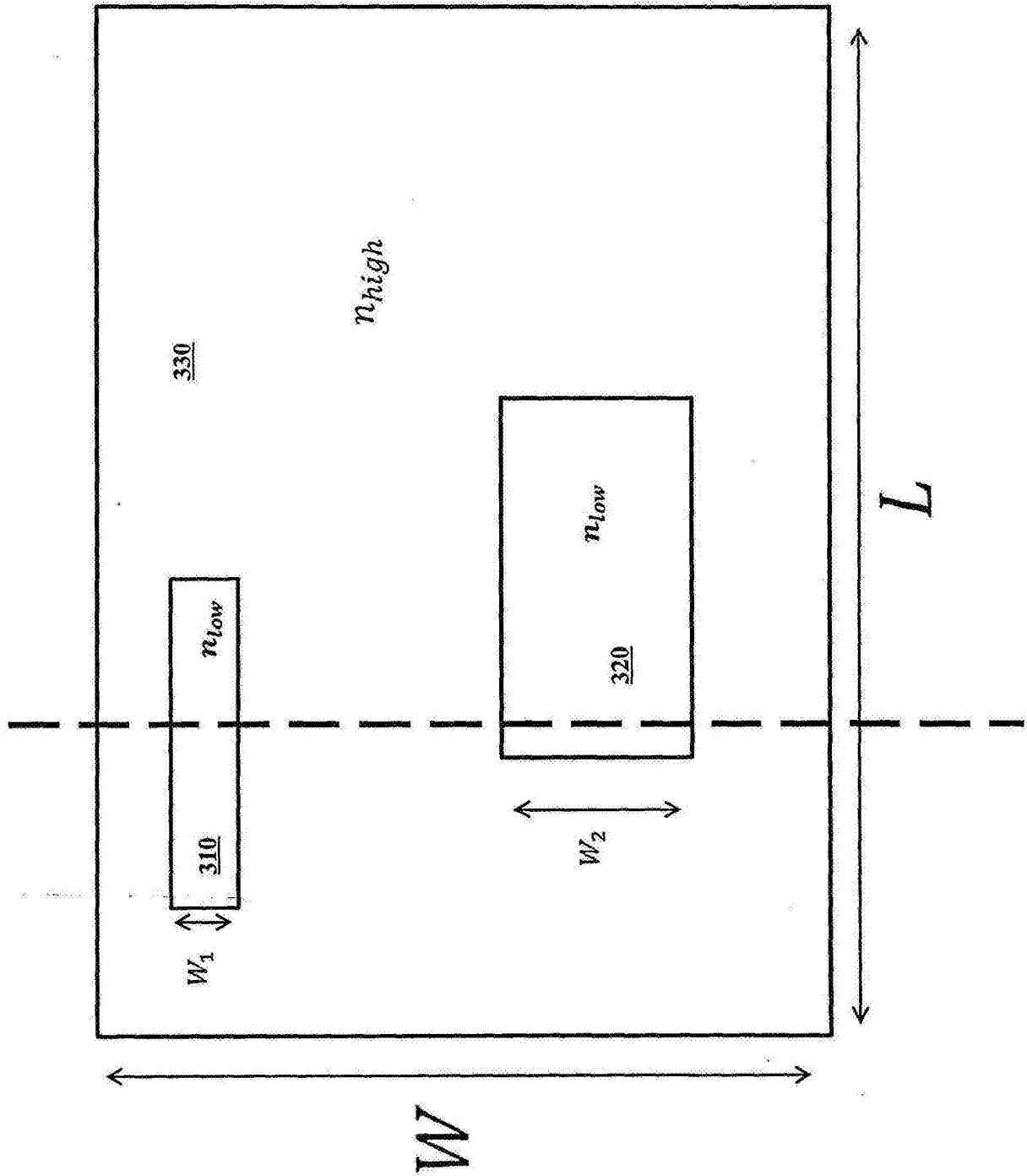


图3

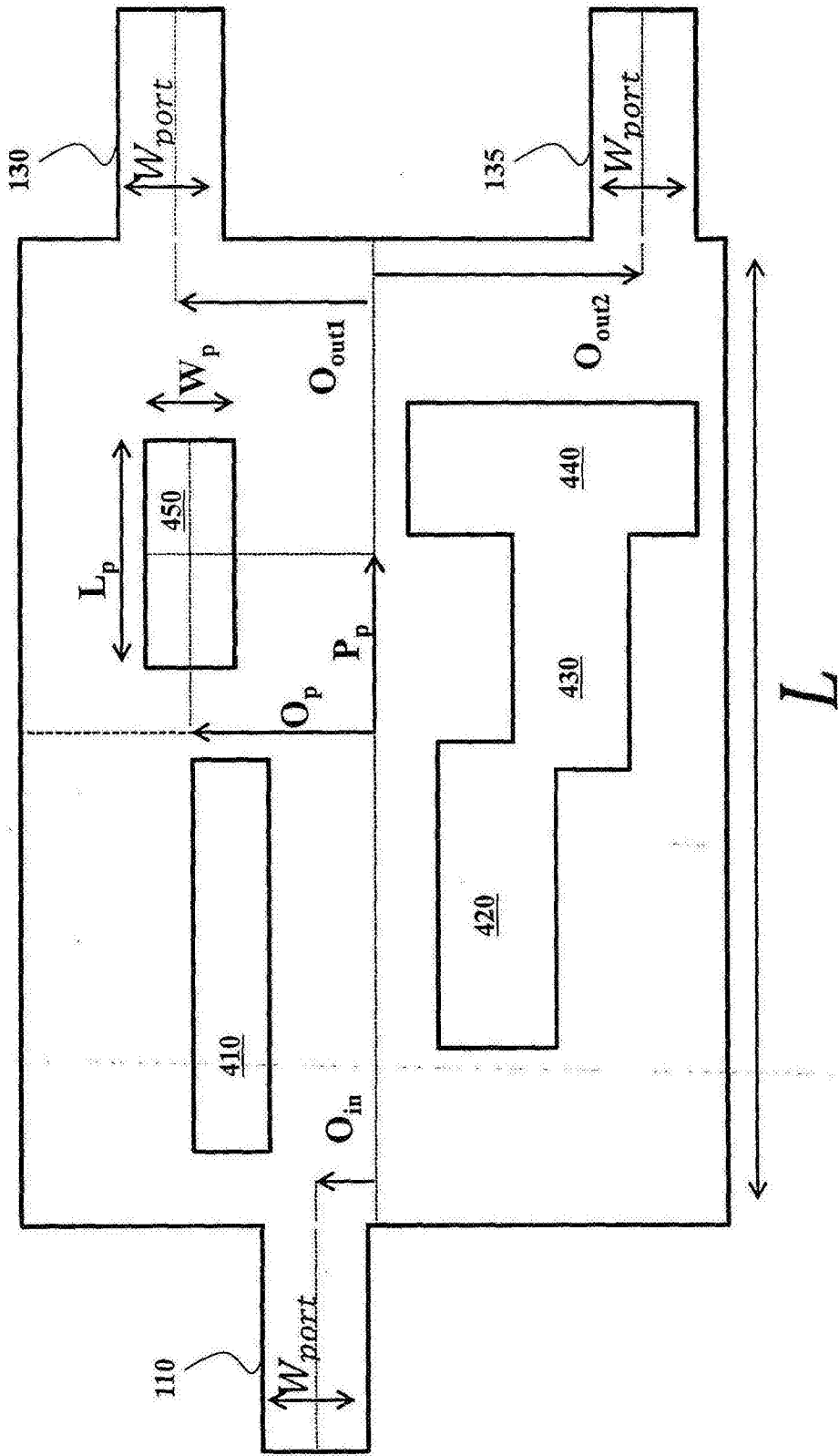


图4A

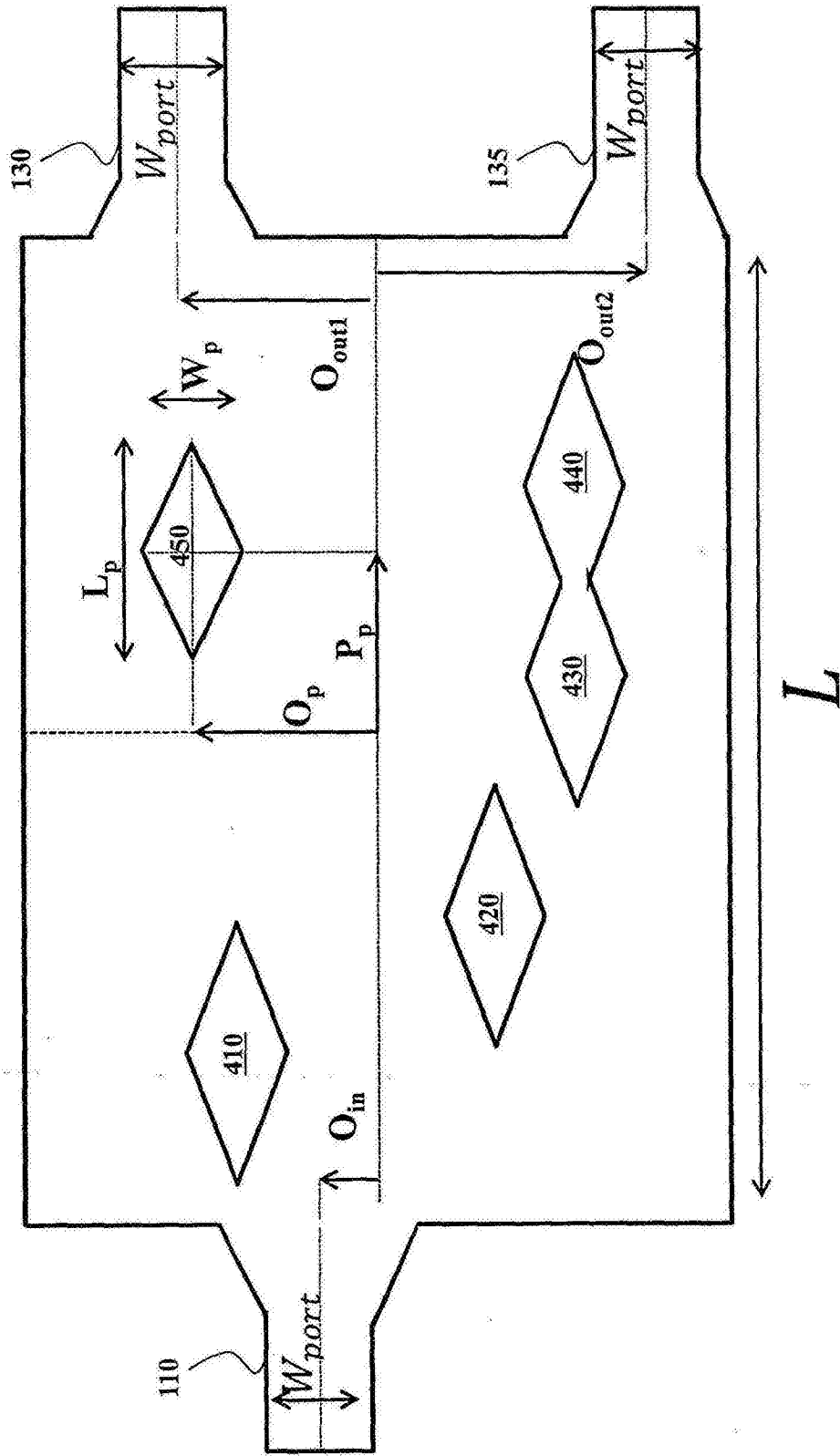


图4B

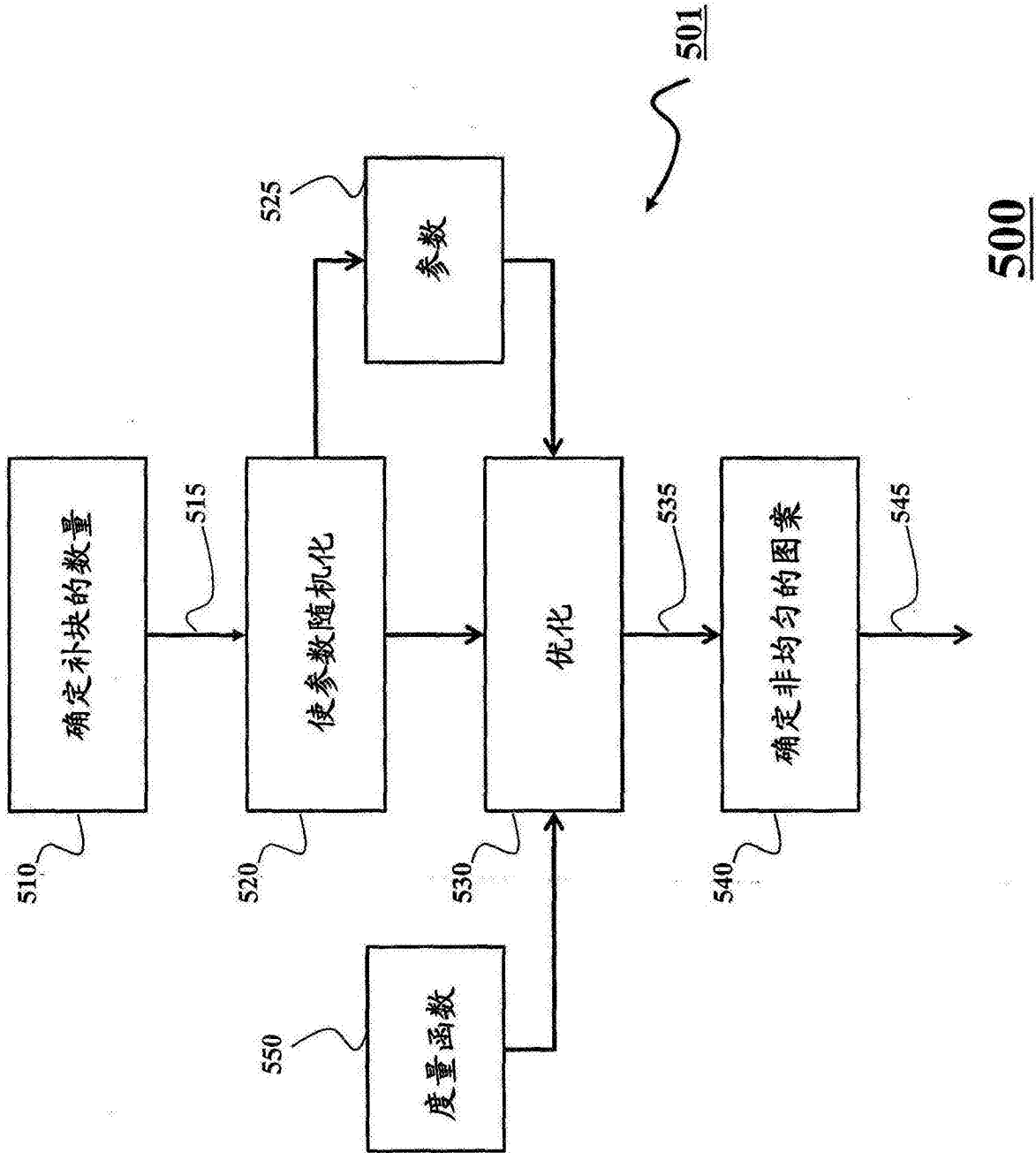


图5

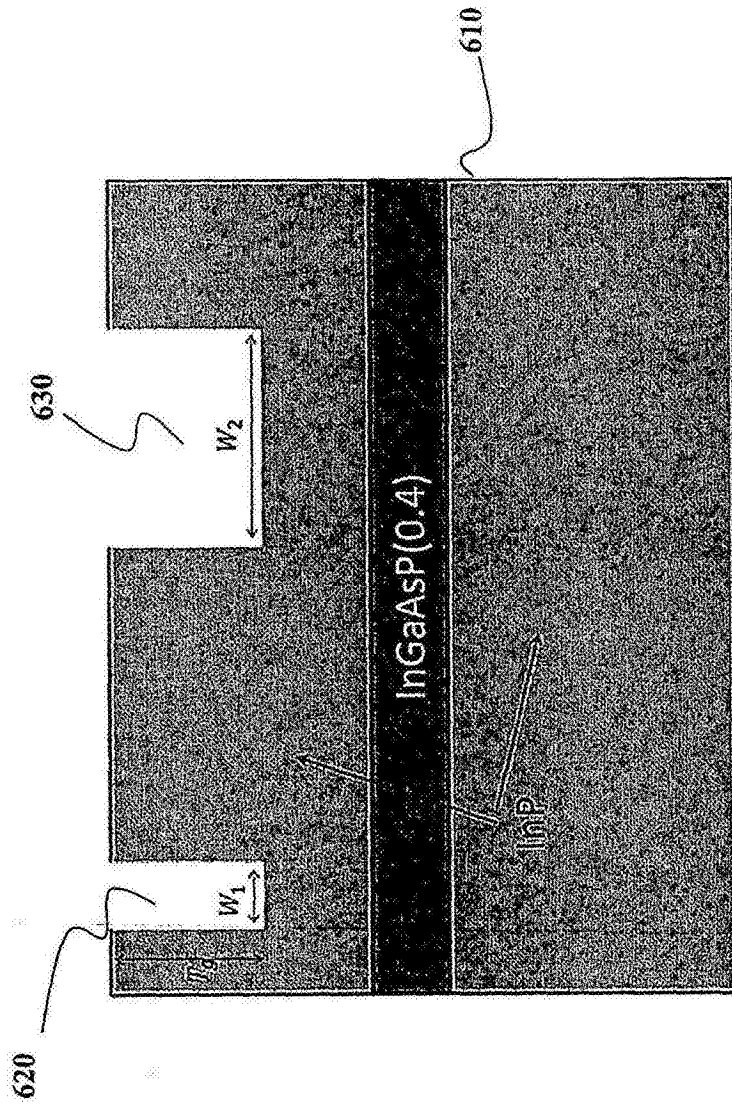


图6

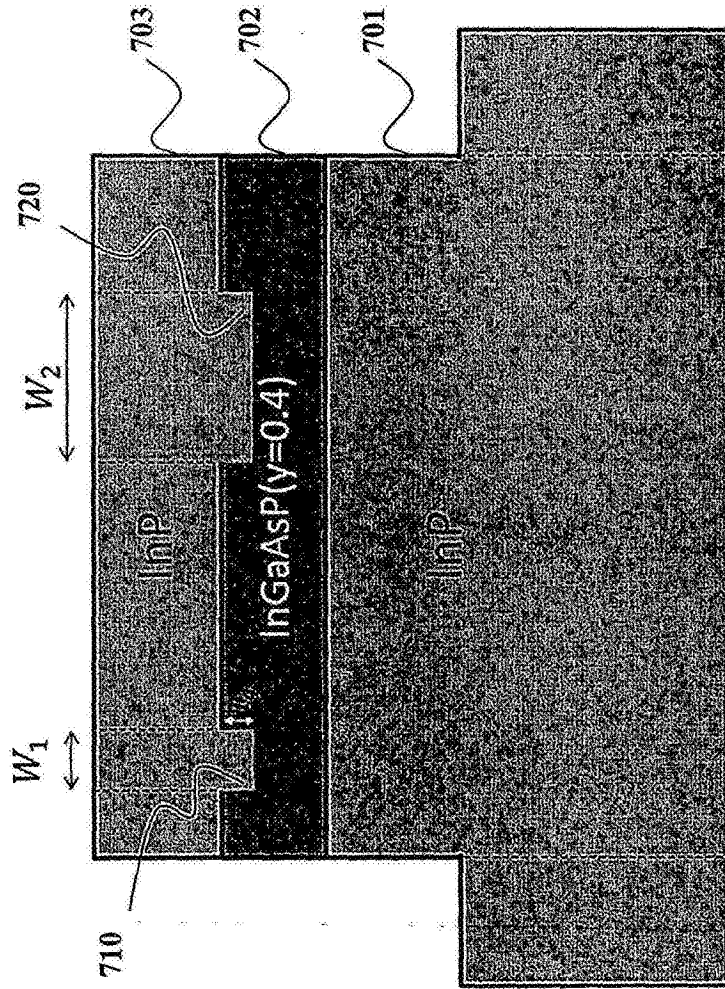


图7

700

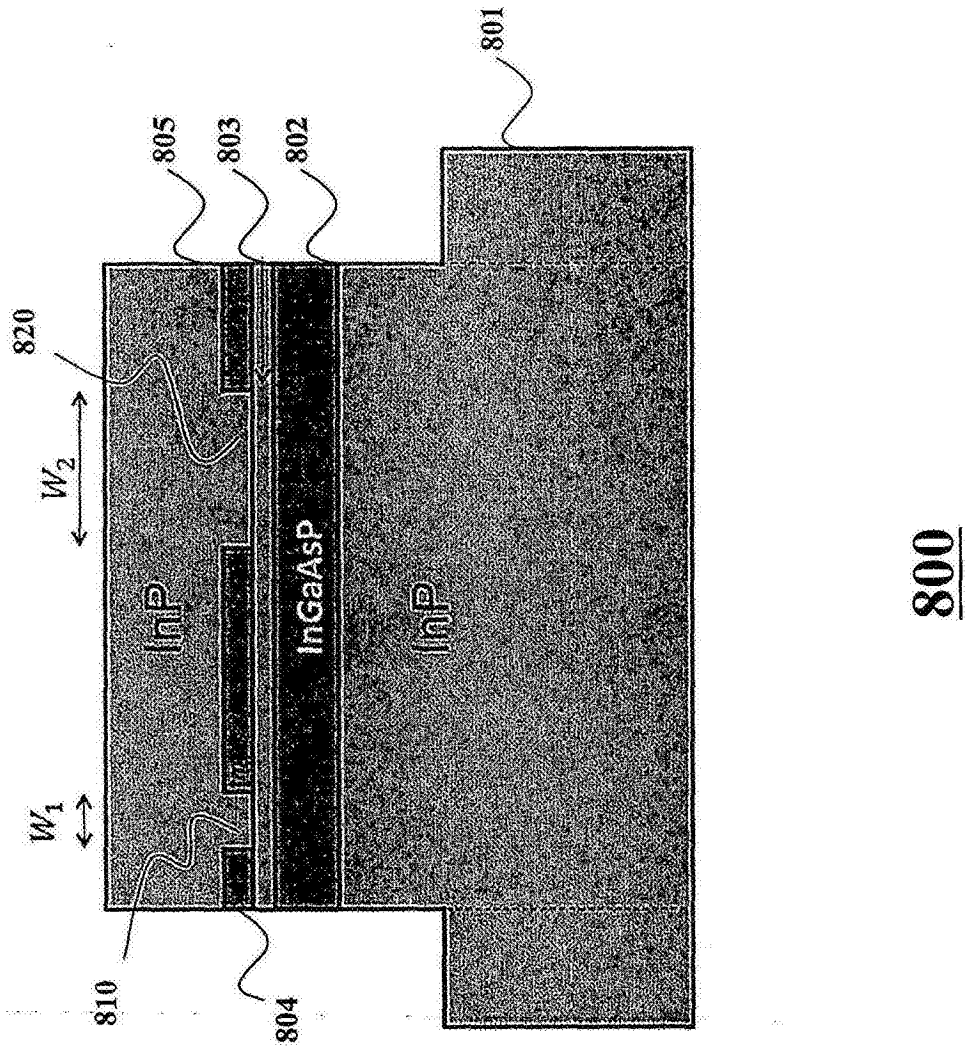


图8

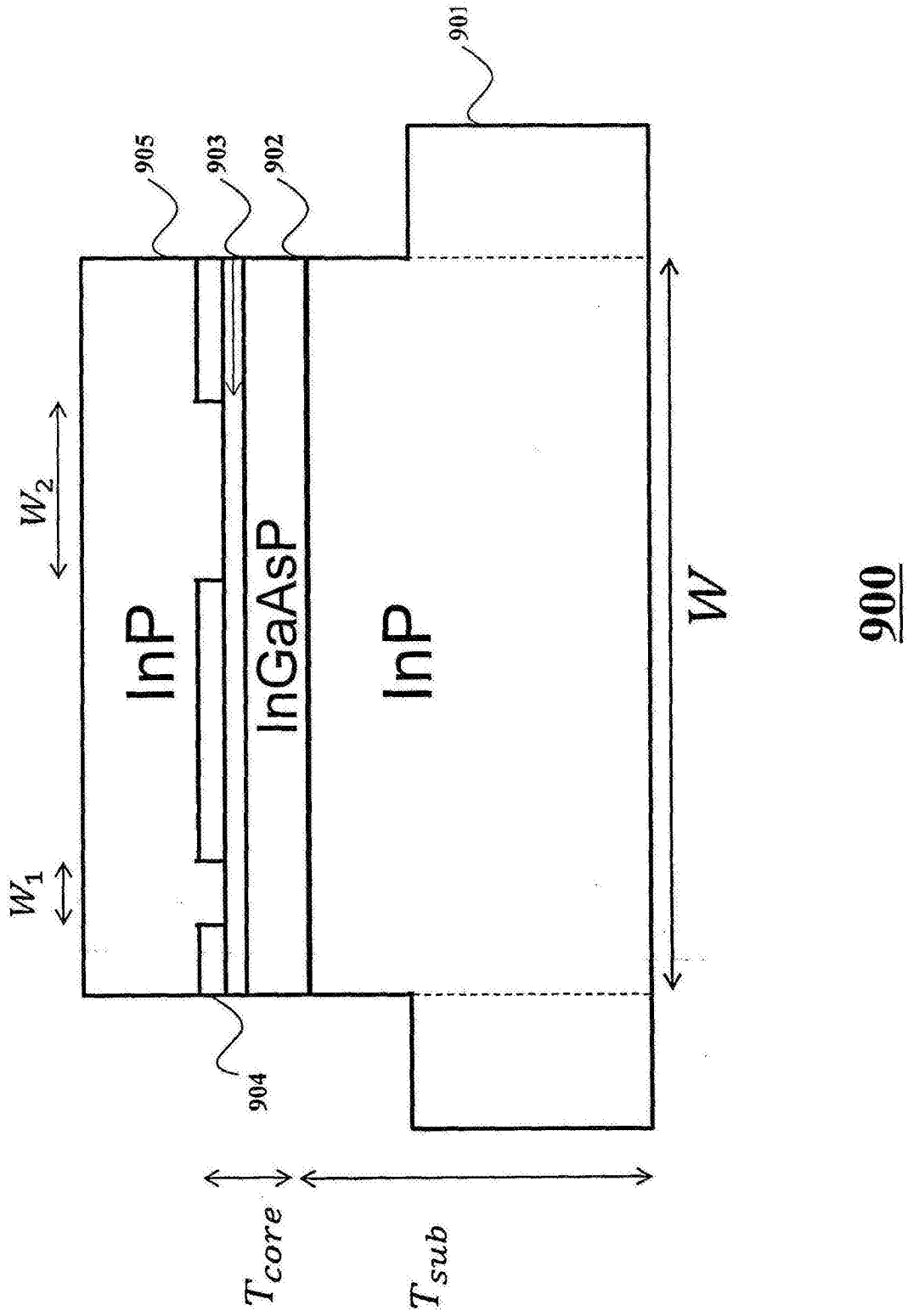


图9

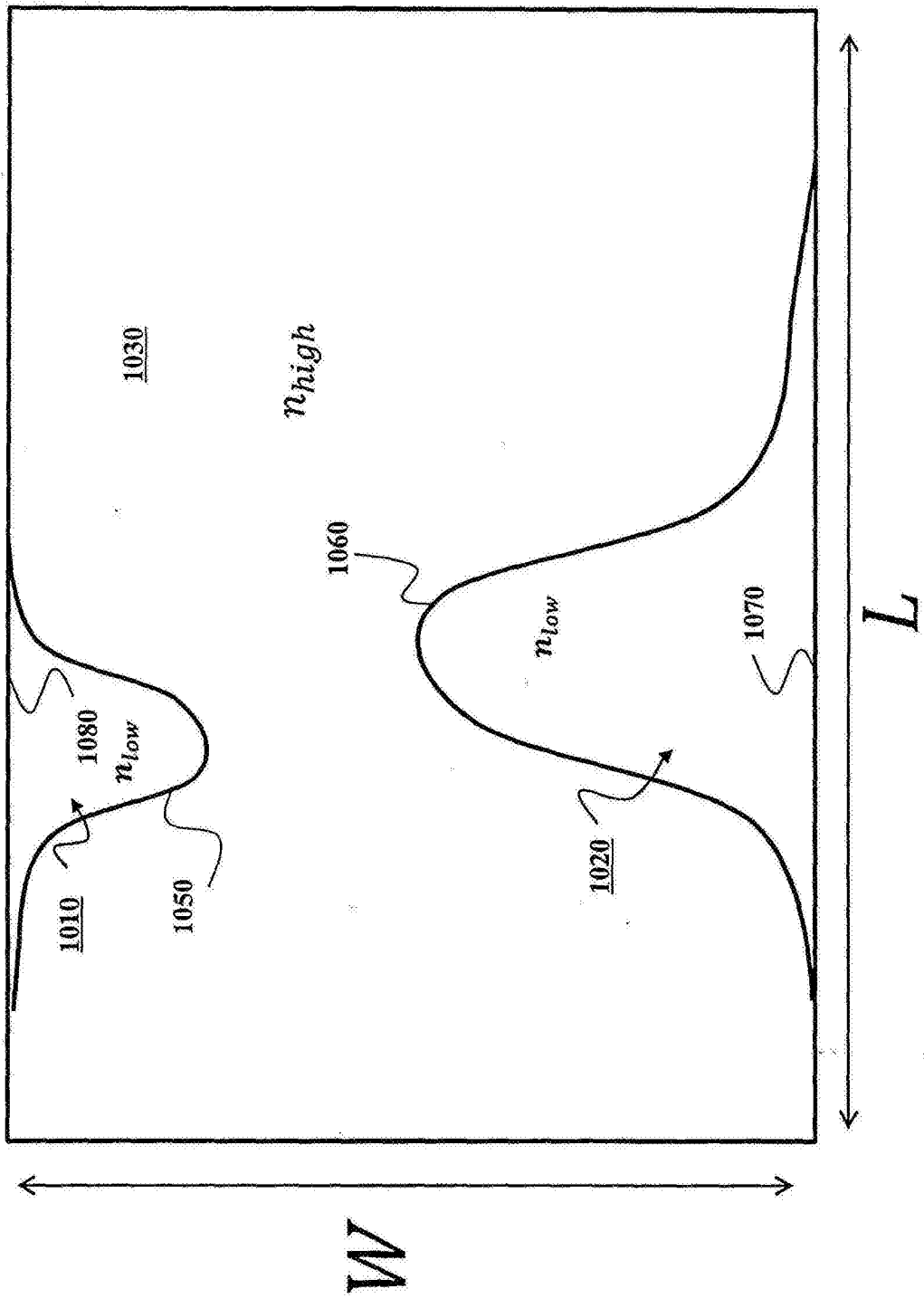


图10

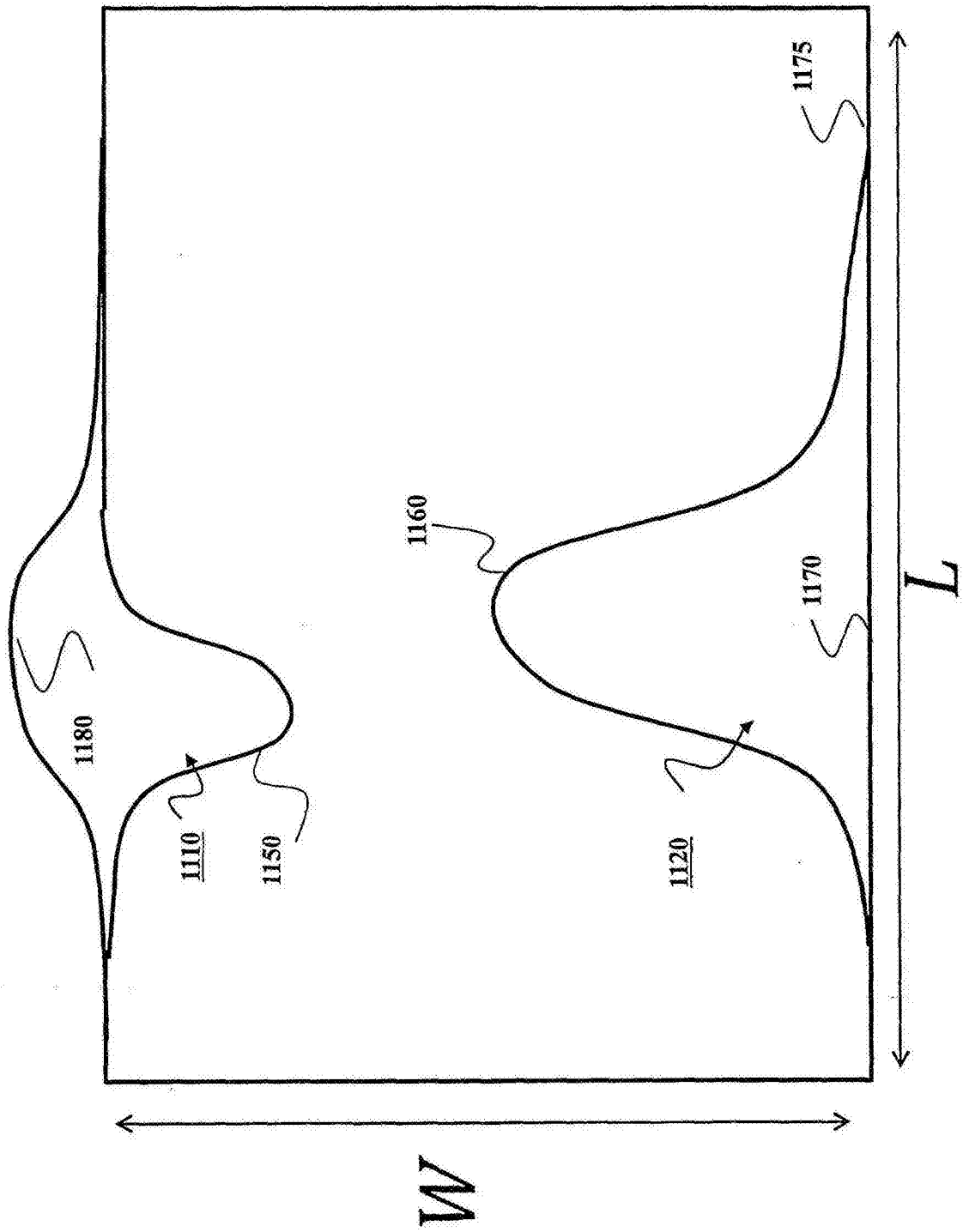


图11

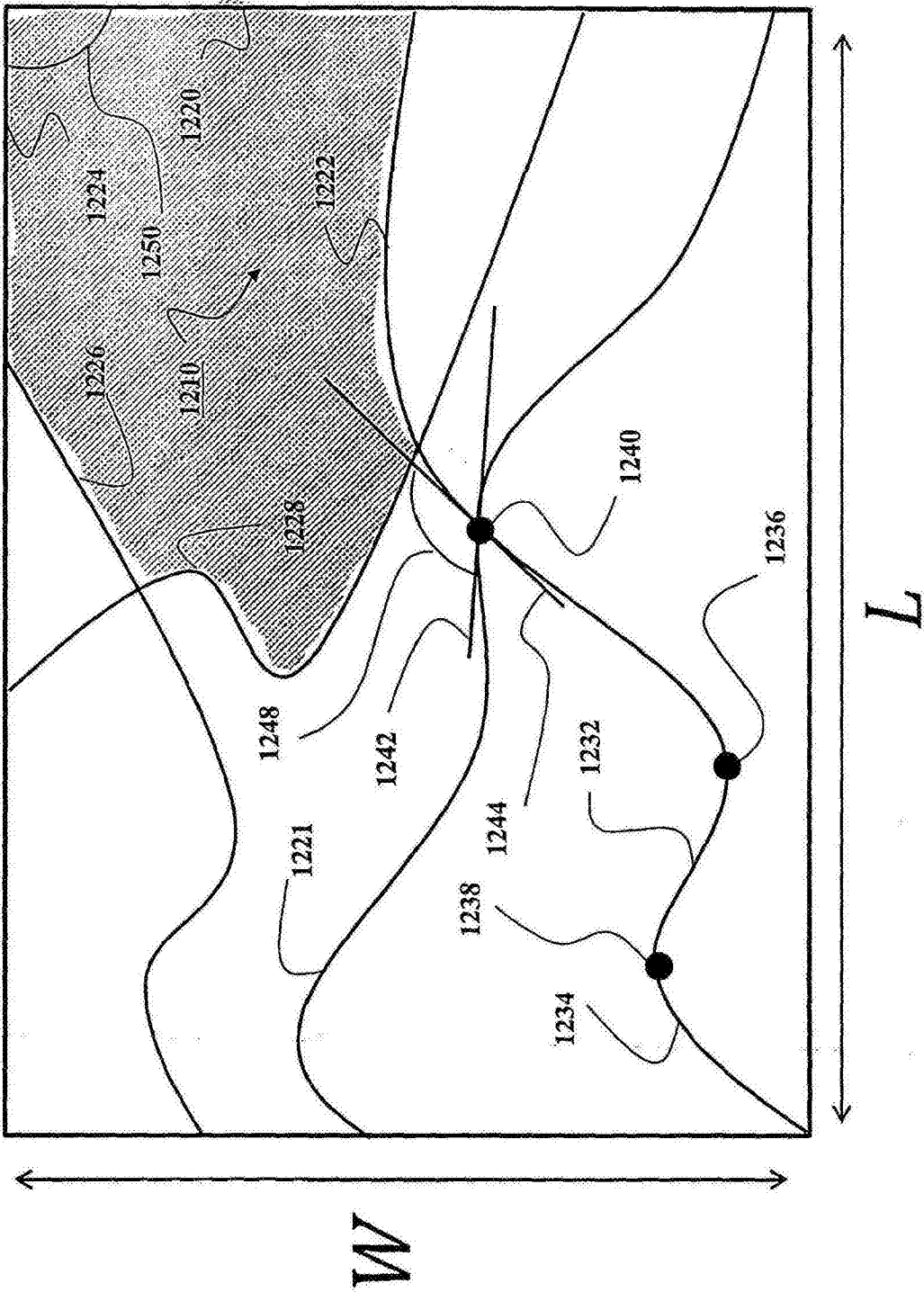


图12